

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10308394 A**

(43) Date of publication of application: **17 . 11 . 98**

(51) Int. Cl.

H01L 21/3205
H01L 21/3065
H01L 21/31
H01L 21/316

(21) Application number: **10056241**

(22) Date of filing: **20 . 02 . 98**

(30) Priority: **20 . 02 . 97 US 97 803304**

(71) Applicant: **APPLIED MATERIALS INC**

(72) Inventor:
SOUNEL HONG
CHOM KUN RUY
MICHAEL NOORT
KAUSHAR K SINGH
ANTHONY RAM
BRENDA V S LANA
ANDREW CONNORS

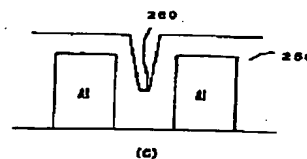
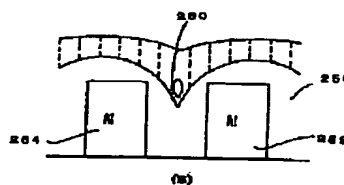
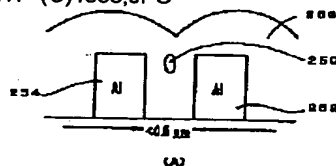
(54) **METHOD OF MODIFYING GAP BURYING POWER USING CHEMICAL AND PHYSICAL ETCHBACKS AND DEVICE**

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make it possible to make higher the gap burying power of the present dielectric thin film by a method wherein a first dielectric material layer is deposited on a substrate in a reaction chamber and the material layer is etched back using both steps of a chemical etchback and a physical etchback.

SOLUTION: In the case where the aspect ratio of metal wirings 252 and 254 is 1 to 2.0 or more and the distance between those metal wirings 252 and 254 is less than about 0.5 microns, a first dielectric layer 256 is deposited on a substrate in such a way as to cover the wirings 252 and 254. After a chemical etchback is executed on the layer 256, a void 250 between the wirings 252 and 254 is exposed to form an acute and narrow exposed part 260. Moreover, a physical etchback is executed on the layer 256 to widen the width of the acute and narrow exposed part 260 and the exposed part 260 is smoothed. Thereby, the gap burying power of the present first dielectric layer 256 can be made higher.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-308394

(43) 公開日 平成10年(1998)11月17日

(51) Int.Cl.⁶
H 0 1 L 21/3205
21/3065
21/31
21/316

識別記号

F I
H 0 1 L 21/88 K
21/31 C
21/316 M
21/302 L

審査請求 未請求 請求項の数20 F D (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平10-56241

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月20日

(31) 優先権主張番号 08/803304

(32) 優先日 1997年 2月20日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390040660

アプライド マテリアルズ インコーポレ
イテッド

APPLIED MATERIALS, I
NCORPORATED

アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95054 サンタ クララ パウアーズ ア
ベニュー 3050

(72) 発明者 スーニル ホング

アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
ロス アルトス, マグダレナ アヴェニ
ュー 550

(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外4名)

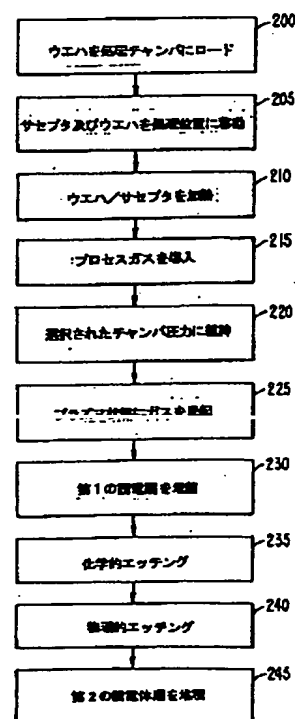
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 化学的及び物理的エッチバックを使用してギャップ埋込み能力を改善する方法及び装置

(57) 【要約】

【課題】 誘電体層を堆積して隣接する金属配線間のギャップを埋める方法及び装置を提供する。

【解決手段】 方法の好適な実施形態では、配線上に第1の誘電体層を形成し、その後で化学的及び物理的エッチバックステップの両方を使用してエッチングする。エッチバックステップの終了後、第1の誘電体層の上に第2の誘電体層を堆積してギャップを埋める。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板に層を堆積する方法であって、前記基板に第1の誘電体層を堆積するステップと、化学的エッチバックステップ及び物理的エッチバックステップの両方で前記第1の誘電体層をエッチバックするステップと、を含む方法。

【請求項2】 前記第1の誘電体層上に第2の誘電体層を堆積するステップを、前記エッチバックステップの後に更に含む請求項1に記載の方法。

【請求項3】 前記エッチバックステップは、物理的エッチバックステップが後に続く化学的エッチバックステップを含む請求項1に記載の方法。

【請求項4】 前記エッチバックステップは、化学的エッチバックステップが後に続く物理的エッチバックステップを含む請求項1に記載の方法。

【請求項5】 前記エッチバックステップが複数回交互に繰り返される化学的エッチバックステップと物理的エッチバックステップとを含み、アスペクト比が2を超えた0.5ミクロン未満のギャップの埋込みを可能にする請求項1に記載の方法。

【請求項6】 前記第1の誘電体層を化学的にエッチバックするために CF_4 を使用する請求項1に記載の方法。

【請求項7】 前記第1の誘電体層を物理的にエッチバックするためにアルゴンスパッタリングを使用する請求項1に記載の方法。

【請求項8】 前記第1の誘電体層がTEFSをベースとするFSG層を含む請求項1に記載の方法。

【請求項9】 前記第2の誘電体層がFSG層を含む請求項2に記載の方法。

【請求項10】 前記第2の誘電体層がUSG層を含む請求項2に記載の方法。

【請求項11】 基板上の隣接した金属配線の間のギャップを埋め込む方法であって、前記ギャップを少なくとも部分的に埋め込むために、前記隣接した金属配線の上にボイドを有する第1の誘電体層を堆積するステップと、前記化学的エッチバックにより前記ボイドが存在する位置に先鋭な狭い露出部を形成するように前記ボイドを露出させるために、前記第1の誘電体層を化学的にエッチバックするステップと、前記露出部の幅を広げて平滑化するために前記第1の誘電体層をスパッタリングにより物理的にエッチバックするステップと、前記露出部を実質的に埋め込むように、エッチバックされた前記第1の層上に第2の誘電体層を堆積するステップと、を含む方法。

【請求項12】 前記ギャップの幅が0.5ミクロン以下で、前記金属配線のアスペクト比が2以上である請求項11に記載の方法。

【請求項13】 請求項11に記載の方法によって形成される集積回路。

【請求項14】 基板上に層を堆積するための基板処理装置であって、

(a) 内部で前記基板上に誘電体層が堆積される第1の基板処理チャンバと、

(b) 内部で化学的エッチバックステップ及び物理的エッチバックステップの両方を使用して前記誘電体層がエッチングされる第2の基板処理チャンバと、

(c) 前記第1及び第2の基板処理チャンバに結合され、前記第1の及び第2の処理チャンバに堆積ガス及びエッチングガスを導入するように形成されているガス分散装置と、

(d) 前記装置の動作を指示するためのコンピュータ読取り可能プログラムを記憶するメモリを有しており、前記第1の処理チャンバ、前記第2の処理チャンバ及び前記ガス分散装置に結合されたシステムコントローラと、を備えており、

前記コンピュータ読取り可能プログラムが、前記第1のチャンバにプロセスガスを導入して基板上に前記誘電体層を堆積するように前記ガス分散装置を制御するための第1組めの命令と、

前記第2のチャンバにエッチャントガスを導入して前記誘電体層を化学的にエッチバックするように前記ガス分散装置を制御するための第2組めの命令と、

前記第2のチャンバにスパッタリングガスを導入して前記誘電体層を物理的にエッチバックするように前記ガス分散装置を制御するための第3組めの命令と、を備える基板処理装置。

【請求項15】 前記コンピュータ読取り可能プログラムが、前記第1のチャンバに第2のプロセスガスを導入して前記誘電体層を物理的にエッチバックするように前記ガス分散装置を制御する第4のコンピューター組の命令を更に含む請求項14に記載の基板処理装置。

【請求項16】 前記第1のチャンバ及び前記第2のチャンバが同一チャンバである請求項15に記載の基板処理装置。

【請求項17】 前記第1及び第2のチャンバがマルチチャンバ処理装置の一部分である異なるチャンバであり、前記基板処理装置が、基板を第1のチャンバと第2のチャンバとの間で搬送するための基板搬送装置を更に備え、前記コンピュータ読取り可能プログラムが、前記誘電体層の堆積後に前記基板を前記第1のチャンバから前記第2のチャンバに搬送するための一組の命令を更に含む請求項14に記載の基板処理装置。

【請求項18】 前記第2組めの命令が、前記第1の誘電体層を化学的にエッチバックするために、 CF_4 を約5~100sccmの速度で約50~150秒間前記第2の処理チャンバに導入するように、前記ガス分散装置を制御する請求項17に記載の基板処理装置。

【請求項19】 前記第3組めの命令が、前記第1の誘電体層を物理的にエッチバックするために、アルゴンを約5～100sccmの速度で約200～350秒間前記第2のチャンバに導入するように、前記ガス分散装置を制御する請求項17に記載の基板処理装置。

【請求項20】 前記第1及び第2の誘電体層によって形成される前記薄膜が、0.5ミクロン以下の距離及び2.0以上のアスペクト比を有する金属配線間のギャップを実質的に埋め込む請求項15に記載の基板処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ウエハ処理中の誘電体層の堆積に関し、更に詳細には、化学的及び物理的エッチバックプロセスを実行してギャップ埋込み能力を更に改善する方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体素子における配線は、一般的に金属導体により行われており、狭い間隔で配置された細い金属ラインである場合もある。2レベル以上の金属導体を使用する場合、導体間の短絡やその他の異常を防止するために、金属層の間に絶縁層を堆積する必要がある。

【0003】従って、最新のマルチレベル半導体素子の製造における主要なステップの1つは、これらの絶縁層の形成であり、これら絶縁層はインターメタル誘電体層或いはIMD層とも呼ばれる。半導体基板上にIMD層を形成する1つの主要な方法は、ガスの化学反応によるものである。このような堆積プロセスは、化学気相堆積或いは“CVD”と呼ばれる。従来の熱CVDプロセスでは、基板表面に反応性ガスを供給し、そこで熱誘導化学反応により所望の薄膜を形成する。層を堆積する別のCVD法としては、プラズマ促進CVD(PECVD)技術がある。プラズマCVD技術は、高周波(RF)エネルギーなどのエネルギーを加えることによって反応ガスの励起及び/又は解離を促進して、反応ガスを励起させ、それによってプラズマを生成するものである。プラズマにおける種の高い反応性のため、化学反応を起こすために必要なエネルギーが低下し、従って、こうしたCVDプロセスに必要な温度が低下する。PECVDプロセスの比較的低い温度のため、この方法は、堆積金属層の上に絶縁層を形成したり、別の絶縁層を形成するのに理想的である。

【0004】半導体素子の幾何学形状は、これらの素子が数十年前に最初に導入されたときから、めざましく小型化されてきた。その導入以来、集積回路は一般的に、2年ごとにサイズが半分になる法則(しばしばムーアの法則と呼ばれる)に従ってきた。これは、1つのチップに収まる素子の数が2年ごとに2倍になることを意味している。今日のウエハ製造工場では、特徴部の大きさが0.5ミクロンの素子、或いは0.35ミクロンの素子

でさえも生産しているが、明日の工場では、更に小型化された素子がすぐに生産されるであろう。

【0005】素子の大きさが小型化して、集積密度が高くなるにつれて、産業界で以前には重要と思われなかった問題が、最も重要な関心事になりつつある。例えば、回路密度が高くなると、隣接している金属導体間の間隔が減少し、隣接導体の高さの距離に対する高さの比が増加する。これは一般にアスペクト比と呼ばれる。アスペクト比の増加に伴って、堆積する絶縁層の形が一致せず、ギャップが完全に埋め込まれない可能性が高くなる。従って、絶縁層が堆積されるときに、望ましくないボイドが、絶縁層内の隣接導体間に形成されるおそれがある。一般的にボイドは、ギャップの底部が埋め込まれる前に、相互に接触する隣接した金属垂直側壁の上方部分に誘電体が堆積したときに形成される。

【0006】この問題の1つの解決法は、フッ素をドーブした酸化珪素膜を堆積することである。これは、フルオロ珪酸塩ガラス(FSG)膜とも呼ばれる。フッ素はエッチング種であるので、フッ素のドーピングにより成長膜にエッチング効果がもたらされると考えられる。この同時の堆積/エッチング効果により、側壁の最上部における堆積は速度が低下し、それにより、最上部が閉じないうちに、ギャップの底部を埋めることができる。

【0007】ギャップ埋込み問題の別の解決法は、3ステップの堆積/エッチバック/堆積プロセスを実行することである。この3ステッププロセスでは、最初に金属層の上に絶縁層を部分的に堆積する。次に、物理的エッチバックステップを実行して、スパッタリングステップで堆積絶縁層にアルゴン又は同様のガスを衝突させる。アルゴンスパッタリングにより、そのままにしておけばボイドの形成の原因となる過剰な堆積の一部をエッチングして取り除く。物理的エッチバックの終了後、第3ステップで堆積を完成させる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】この3ステップの堆積/エッチバック/堆積プロセスにより、多くの用途に適した改善されたギャップ埋込み能力が達成される。しかし、素子の小型化は更に進むので、用途によっては、それ以上のギャップ埋込み能力が望まれる。従って、現在の誘電体薄膜のギャップ埋込み能力を更に改善する方法及び装置が必要とされる。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、改善されたギャップ埋込み能力を備えた絶縁層を提供する。改善されたギャップ埋込み能力は、絶縁層の第1の部分の堆積後に、化学的及び物理的エッチバックステップの両方を使用することによって達成される。本発明は、そうした層を形成する方法及び装置を含む。

【0010】本発明の方法では、反応チャンバで基板上に第1の誘電体材料層が堆積される。次に、化学的及び

物理的エッチバックの両ステップを含む2ステップエッチングプロセスを使用して、第1の誘電体材料層がエッチバックされる。2ステップエッチバックプロセスの終了後、基板上に第2の誘電体材料層を堆積してギャップ埋込みプロセスを完了する。

【0011】一実施態様では、2ステップエッチバックプロセスは、最初に化学的エッチバックステップを行い、その後物理的エッチバックステップを行う。本発明に係る方法の別の実施態様では、物理的エッチバックを用いて第1の誘電体層をエッチングし、その後、化学的エッチバックでエッチングする。更に別の実施態様では、化学的エッチバックステップと物理的エッチバックステップを交互に2回以上繰り返すことにより、第1の誘電体層をエッチバックする。

【0012】別の好適な実施態様では、第1及び第2の誘電体層はFSG層であり、最も好適な実施形態では、テトラエチルオルソシリケート(TEOS)によって供給される珪素及びトリエトオキシフルオロシラン(TEFS)によって供給されるフッ素を含む処理ガスからこれらの層が堆積される。化学的エッチバックステップでは、四フッ化炭素(CF₄)がエッチャントガスとして使用され、物理的エッチバックステップでは、アルゴンがスパッタリング元素として使用される。

【0013】本発明の上記及びその他の実施態様について、多数の利点及び特徴も併せて、以下の記述及び添付図面で詳しく説明する。

【0014】

【発明の実施の形態】

I. 代表的なCVD装置

本発明の方法を実行することができる好適なCVD装置の1つを図1及び図2に示す。これらの図はCVD装置10の垂直断面図であって、その装置10には真空チャンバ又はプロセスチャンバ15が設けられ、そのチャンバ15には、チャンバ壁15a及びチャンバ蓋アセンブリ15bが設けられている。チャンバ壁15a及びチャンバ蓋アセンブリ15bを、図3及び図4に分解斜視図として示す。

【0015】装置10にはガス分散マニホールド11が設けられており、そのガス分散マニホールドによって、プロセスガスがプロセスチャンバ内の中心にある加熱されたベDESTAL12に載置されている基板(図示せず)に分散される。処理中に、基板(例えば半導体ウエハ)はベDESTAL12の平らな(又は僅かに凸曲線状の)面12aに配置される。ベDESTALは、下方のローディング/オフローディング位置(図1に示す)と、マニホールド11に近接した上方の処理位置(図1では点線で示し、図2では実線で表わしている)との間を制御可能に移動する。センタボード(図示せず)はウエハの位置に関する情報を提供するためのセンサを有している。

【0016】堆積ガス及びキャリアガスは、従来の平坦

で円形なガス分散面板13aの穿孔13b(図4に示す)を通してチャンバ15に導入される。更に詳細には、堆積プロセスガスは、吸込みマニホールド11(図2に矢印40で示す)を通り、従来の穿孔されたブロック板42を通り、そして分散面板13aの孔13bを通してチャンバに流入される。

【0017】堆積ガス及びキャリアガスは、マニホールドに達する前にガス供給ライン8を通して混合装置9に入って混合され、それからマニホールド11に送られる。通常、各プロセスガスの供給ラインには、(i)プロセスガスのチャンバ流入を自動的に又は手動で遮断するために用いることができる数個の安全遮断バルブ(図示せず)と、(ii)供給ラインを通るガスの流れを測定する質量流量コントローラ(これも図示せず)とが設けられている。有毒ガスがプロセスで使用される場合は、数個の安全遮断バルブが従来の配置で各供給ラインに置かれる。

【0018】リアクタ10で行われる堆積プロセスは、熱処理プロセス又はプラズマ促進プロセスのどちらかであろう。プラズマ促進プロセスにおいて、RF電源44は、ガス分散面板13aとベDESTALとの間に電力を供給し、プロセスガス混合物を励起して、面板13aとベDESTALとの間の円柱形領域にプラズマを形成する(この領域を本明細書では「反応領域」と呼ぶ)。プラズマの成分は、反応し、所望の膜がベDESTAL12に支持されている半導体ウエハの表面に堆積される。RF電源44は、混合周波数RF電源であり、通常、13.56MHzの高RF周波(RF1)、360KHzの低周波(RF2)を供給し、真空チャンバ15に導入された反応種の分解を促進する。

【0019】堆積プロセス中、排出路23及び遮断バルブ24を取り囲んでいるチャンバ本体の壁部15aを含むプロセスチャンバ10の全体がプラズマによって加熱される。プラズマがオンされていないときは、高温の液体がプロセスチャンバの壁15aを通して循環されて、チャンバは高温に維持される。チャンバ壁15aを加熱するために用いられる流体は、典型的な流体の種類、すなわち水ベースのエチレングリコール又はオイルベースの伝熱流体を含んでいる。この加熱によって、望ましくない反応生成物の凝縮が有益に低減又は排除される。またこの加熱によって、低温の真空通路の壁に凝縮して、ガスが流れていないときにプロセスチャンバに移動して戻った場合にプロセスを汚染する可能性のある、プロセスガスの揮発性生成物及び他の汚染物質が一層排除される。

【0020】層に堆積されなかったガス混合物の残余物(反応生成物を含む)は、チャンバから真空ポンプ(図示せず)によって排気される。特にガスは、反応領域を包囲している環状のスロット形オリフィス16を通して、環状の排気プリナム17に排気される。環状のスロ

ット16及びプリナム17はチャンバの円筒形側壁15a(壁にある上部絶縁ライニング19を含む)の頂部と、円形チャンバ蓋20の底部との間の隙間によって画されている。360°の円対称で均一なスロットオリフィス16及びプリナム17は、ウエハ上にプロセスガスの均一な流れを達成し、ウエハ上に均一な膜を堆積するのに重要である。

【0021】ガスは、排気プリナム17から排気プリナム17の横延長部21の下を流れ、のぞき窓(図示せず)を過ぎ、下方に延びるガス路23を通り、真空遮断バルブ24(本体は下部チャンバ壁15aと一体になっている)を過ぎ、フォアライン(foreline)(図示せず)を通して外部真空ポンプ(図示せず)に接続されている排出口25に入る。

【0022】好ましくはアルミニウムのペDESTAL12のウエハ支持プラタ(platter)は、平行な同心円形の2つのフルターンを成している埋込み式シングルループヒータ部材を用いて加熱される。このヒータ部材の外側部分は支持プラタの外周に隣接して通されており、内側部分は小さな半径を有している方の同心円の軌跡上に通されている。ヒータ用の電熱線はペDESTAL12のステムを通過している。

【0023】一般的に、チャンバライニング、ガス吹込みマニホールド面板及び他の多様なリアクタハードウェアのどれもが又は全てがアルミニウム又は陽極処理されたアルミニウム等の材料から作られている。このようなCVD装置の例が、「CVDプロセスチャンバ」という名称のZhao等に付与された米国特許第5,558,717号明細書に記載されている。第5,558,717号の特許は、譲受人であるアプライドマテリアルズ社に譲渡されて、本明細書に全体が援用されている。

【0024】ウエハがロボットブレード(図示せず)によって、チャンバ10の側部の挿入/取出し口26を通してチャンバの本体の中に及び中から移送されると、加熱ペDESTALアセンブリ12及びウエハリフトピン12bはリフト機構及びモータ32によって昇降される。ペDESTAL12は、モータ32(図1)によって処理位置14とそれより低いウエハローディング位置との間を昇降される。モータ、供給ライン8に接続されているバルブ又は流量コントローラ20、ガス送出し装置、スロットバルブ32、RF電源44並びにチャンバ及び基板の加熱装置は、コントロールライン36(数本のみが図示されている)を介してそれら全てがシステムコントローラ34(図2)によって制御されている。コントローラ34は、光センサからのフィードバックによってスロットバルブ及びペDESTAL等の機械式可動アセンブリの位置を決定し、コントローラ34の制御の下、適切なモータによって移動される。

【0025】以上の記述は主として説明を目的とするものであって、発明の範囲を限定するものとみなされるべ

きはない。電子サイクロトロン共鳴(ECR)プラズマCVD装置や、誘導結合式RF高密度プラズマCVD装置等の、他のCVD装置を使用することもできる。更に、ペDESTALの設計、ヒータの設計、RFパワー周波数、RFパワー接続の位置及びその他の変更等、上記装置の様々な変化が可能である。例えば、ウエハを石英ランプで支持し、加熱することができる。本発明の層及びそのような層を形成する本発明の方法は、特定の装置や特定のプラズマ励起法に限定されない。

【0026】II. 典型的エッチバック装置

本発明の現行の好適な実施形態で、基板は、化学的及び物理的エッチバックプロセスのために、真空密閉状態で、反応チャンバ15からエッチバックチャンバ41に移動される。しかし、他の実施形態では、堆積ステップ及びエッチバックステップの両方をインサイチュエーションとして単一基板処理チャンバ内で実行することもできる。

【0027】図5は、本発明による化学的及び物理的エッチバックステップを実行できるエッチバックチャンバ41を備えた概略エッチバック装置5の一実施形態の断面図である。図5に示すように、基板がエッチバックチャンバ41で化学的及び物理的エッチバックを受けるときに、基板はペDESTAL43によって支持されている。リフトフィンガ45によって、ウエハはペDESTAL表面まで持ち上げられまたそこから下げられる。ペロー47によって、エッチバックチャンバの真空の完全性が維持された状態で、リフトシリンダ49からリフトフィンガ45に運動が伝えられる。ペロー47は、リフトシリンダ49の空気膨張によって上向きに運動される。下向きの運動は、リフトアクチュエータ51にあるリターンズプリングによって発生される。リフトシリンダ49は、空気圧によってペロー47を駆動し、リフトフィンガ45を3つの可能な位置、すなわち「エッチバック」、「解放」、及び「リフト」位置に移動する。3つのセンサ及び1つのフラッグにより、位置基準点が定義される。位置センサは、調整可能なスライド取付台上にある。リフトアクチュエータ51は、リターンズプリングと共にリフトフィンガを下降させ、リフトシリンダ49の上向きの運動をペローに伝える。

【0028】化学的及び物理的エッチバックの両方ともエッチバックチャンバ41で行われる可能性が大きいので、エッチバックチャンバ41はエッチバック処理環境を密閉している。物理的エッチバックプロセスでは、不活性ガスをエッチバックチャンバ41に導入して、スパッタリングが達成される。不活性ガスはガス分散板53を介して導入されることが可能で、所望の圧力(一般的に1mTorr~700mTorr)に達するまで、スロットバルブでポンピング速度が制御される。ウエハを載置したペDESTAL43に、RF電源55からRFパワーを供給する。RFパワーにより電子があちこちに加速され、

ガス分子のイオン化が発生し、プラズマ状態が形成される。また、プラズマ内では陰電荷を有する電子の移動度が高いため、RFパワーにより、ウエハ上に負のセルフバイアス電圧が誘導される。負電圧はイオンを引きつけ、加速するので、イオンはウエハの表面と衝突して、ウエハの表面から原子をスパッタリングする。ウエハはこうして、表面の原子のスパッタ除去によって物理的にエッチングされる。

【0029】化学的エッチバックプロセスでは、物理的エッチバックの場合と同様の方法でプラズマが生成されるが、エッチバックは、主としてCF₄などの化学薬品を使用して達成される。化学分子はプラズマによって分解されて、極めて反応性の高いラジカルを発生し、このラジカルが誘電体層と反応して揮発性化合物を発生する。なお、この揮発性化合物はポンプで吸い出される。更に、ラジカルが誘電体層と反応するときに、反応がバイアス電位の方向に発生するように、基板にわずかなバイアス電圧を加えることもできる。コントローラ34は、チャンバ15を制御する場合と同様の方法で、制御ライン36により、エッチバックチャンバ41の様々な要素及び動作を制御している。

【0030】以上の記述は主として説明目的のためのものである。発明の範囲を限定するものとみなしてはならない。ペDESTALの設計、ヒータの設計、及びその他の変更など、上記装置の様々な変更が可能である。本発明は、特定のエッチング装置や方法に限定されるものではない。

【0031】III. 処理装置のコンピュータ制御
ある特定の実施形態では、当業者は、CVD装置10に一つ、エッチバック装置5に一つというように独立のシステムコントローラが使用され得ることを認識するであろうが、一つの通常のシステムコントローラによって、CVD装置10及びエッチバック装置が制御されている。

【0032】好ましい実施形態において、システムコントローラは、ハードディスクドライブ（メモリ38）、フロッピディスクドライブ及びプロセッサ37を有している。プロセッサは、シングルボードコンピュータ（SBC）、アナログインプット/アウトプットボード及びデジタルインプット/アウトプットボード、インターフェースボード並びにステップモータコントローラボードを有している。CVD装置10の様々な部分が、ベルサモジュラヨーロッパ（Versa Modular Europeans (VME)）規格に従っており、その規格によってボード、カードケージ及びコネクタの寸法及び型が定められている。16ビットデータバス及び24ビットアドレスバスを有するバス構造もVME規格によって定められている。

【0033】システムコントローラ34によって、CVD装置及びエッチバック装置の全ての動きが制御されて

いる。システムコントローラはシステムコントロールソフトウェアを実行する。そのソフトウェアは、メモリ38等のコンピュータ読取り可能媒体に記憶されているコンピュータプログラムである。メモリ38は、好ましくはハードディスクドライブであるが、他の種類のものであってもよい。コンピュータプログラムは、一組の命令を含んでおり、その一組の命令は、特定のプロセスのタイミグ、ガスの混合、チャンバ圧、チャンバ温度、RFパワーレベル、ペDESTAL位置及び他のパラメータを指示するものである。勿論、例えばフロッピディスク又は他の適当なドライブを含む他のメモリ素子に記憶されているもの等の他のコンピュータプログラムも、コントローラ34を操作するのに用いることができる。

【0034】図6に示すように、使用者とコントローラ34とのインターフェースは、CRTモニタ50a及びライトペン50bによってなされる。この図6は1以上のチャンバを含むことのできる基板処理装置のCVD装置10及びシステムモニタの略図である。好ましい実施形態では、2つのモニタ50aが使用されており、1つはオペレータ用にクリーンルーム壁に取り付けられ、他方はサービス技術者用に壁の裏側に取り付けられている。両モニタ50aは同時に同じ情報を表示するが、ライトペン50bは1つのみが可能である。ライトペン50bはCRTディスプレイによって発せられた光をペンの先端にあるライトセンサで検出する。特定の表示面又は機能を選択するために、オペレータはディスプレイ表示面の指定された領域に触れ、ペン50bのボタンを押す。接触領域は特に明るい色に変化するが、新しいメニュー又は表示面がディスプレイされ、ライトペンとディスプレイ表示面との間で通信できたことが確認される。勿論、使用者がコントローラ34と通信するために、キーボード、マウス又は他の指示若しくは通信装置等の他の装置を、ライトペン50bの代わりに又はライトペン50bに加えて使用することもできる。

【0035】膜を堆積及びエッチングするプロセスは、コントローラ34で実行されるコンピュータプログラムプロダクトを用いて実施され得る。コンピュータプログラムコードは、68000アセンブリ言語、C、C++、パスカル、フォートラン又は他のもの等の従来のどのコンピュータ読取り可能プログラミング言語によっても書かれることができる。プログラムコードとしては、単一のファイル又は複数のファイルに入力されており、従来のテキストエディタを使用して、コンピュータのメモリ装置等のコンピュータ使用可能媒体で具現化又はストアされているものが好適である。入力されたコードテキストが高級言語の場合、コードはコンパイルされ、その結果生じたコンパイルコードは次に、コンパイルされたウィンドウズ（商標）ライブラリルーチンのオブジェクトコードとリンクする。装置使用者は、リンクされ且つコンパイルされたオブジェクトコードを実行するために、オ

プロジェクトコードを呼び出し、そのコードをコンピュータシステムによってメモリにロードさせ、そのメモリからCPUにそのコードを読取らせてコードを実行させ、プログラムで識別されたタスクを行わせる。

【0036】図7は、特定の実施形態に従った、システムコントロールソフトウェア、コンピュータプログラム70の階層的コントロール構造を示したブロック図である。使用者は、CRTモニタに表示されたメニュー又は表示面に応じてプロセスセット番号及びプロセスチャンバ番号を、ライトペンインターフェースを用いてプロセス選択サブルーチン73に入力する。プロセスセットは、特定のプロセスを実行するのに必要なプロセスパラメータの所定の組合わせであり、予め決められたセット番号で識別される。プロセス選択サブルーチン73は、

(i) 所望のプロセスチャンバと、(ii) 所望のプロセスを実行するようにプロセスチャンバを操作するのに必要な所望のプロセスパラメータのセットとを識別する。特定のプロセスを行うためのプロセスパラメータは、例えば、プロセスガスの組成及び流量、温度、圧力、RFパワーレベル並びにRF周波の低周波数等のプラズマ条件、冷却ガス圧及びチャンバ壁温度等のプロセス条件と関係している。そのプロセス条件は使用者にレシピの形で提供され、プロセスレシピによって特定されたパラメータは、ライトペン/CRTモニタインターフェースを用いて入力される。

【0037】プロセスをモニタする信号は、システムコントローラのアナログ入力ボード及びデジタル入力ボードによって提供され、プロセスを制御する信号は、CVD装置10のアナログ出力ボード及びデジタル出力ボードに出力される。

【0038】プロセスシーケンササブルーチン75は、識別されたプロセスチャンバ及びプロセスパラメータのセットをプロセス選択サブルーチン73から読み込むためと、多様なプロセスチャンバの制御操作のためとのプログラムコードを含んでいる。多数の使用者がプロセス組合せ番号及びプロセスチャンバ番号を入力することができ、或いは一人の使用者が多数のプロセス組合せ番号及びプロセスチャンバ番号を入力することができ、シーケンササブルーチン75によって、選択されたプロセスが所望のシーケンサにスケジュールされるように操作される。好ましくは、シーケンササブルーチン75は以下のステップを行うプログラムコードを含んでいる。(i) プロセスチャンバの作動状況をモニタしてチャンバが使用されているか否かを決定するステップ、(ii) 何のプロセスが使用されているチャンバ内で行われているかを決定するステップ、(iii) 実行されるプロセスの型及びプロセスチャンバの使用可能度(availability)をベースにして所望のプロセスを実行するステップ。プロセスチャンバが使用可能かをモニタする従来の方法はポーリング(polling)であった。シーケンササブルーチン75

は、どのプロセスが実行されるかをスケジュールするときに、どのプロセスを優先させるかといったスケジュールを決定するために、選択したプロセスに対する、所望のプロセス状況と対比した使用プロセスチャンバの現状況若しくは使用者が入力した各々の特定リクエストの「年代(age)」、又はシステムプログラマが含まれることを望む他の関連あるファクタを考慮するように設計されることができる。

【0039】シーケンササブルーチン75が、どのプロセスチャンバ及びプロセスセットの組合わせを次に実行するかを決定すると、シーケンササブルーチン75は、特定のプロセスセットパラメータをチャンバ管理サブルーチン77a~cに渡してプロセスセットを実行する。チャンバ管理サブルーチン77a~cは、複数の処理タスクを、シーケンササブルーチン75によって決定されたプロセスセットに従ってプロセスチャンバ15内で制御するものである。例えば、チャンバ管理サブルーチン77aはプロセスチャンバ15内のスパッタ及びCVDプロセスの操作を制御するプログラムコードを含み、チャンバ管理サブルーチン77cはエッチバックチャンバ41内のエッチバックプロセス操作を制御するプログラムコードを含んでいる。チャンバ管理サブルーチン77は、また多様なチャンバ構成要素サブルーチンの実行を制御し、それらのサブルーチンは、選択されたプロセスセットを実行するのに必要なチャンバ構成要素の操作を制御する。チャンバ構成要素サブルーチンの例としては、基板位置決めサブルーチン80、プロセスガス制御サブルーチン83、圧力制御サブルーチン85、ヒータ制御サブルーチン87及びプラズマ制御サブルーチン90がある。当業者は、処理チャンバ15及びエッチバックチャンバ41内でどのようなプロセスの実行が望まれるかによって、他のチャンバ制御サブルーチンが含まれ得ることを容易に認識するであろう。操作中に、チャンバ管理サブルーチン77a或いは77cは、実行される特定のプロセスセットに従って、プロセス構成要素サブルーチンを選択的にスケジュールするか又は呼び出す。チャンバ管理サブルーチン77a或いは77cは、シーケンササブルーチン75がどのプロセスチャンバ及びプロセスセットが次に実行されるかをスケジュールしたのと同様にプロセス構成要素サブルーチンをスケジュールする。通常、チャンバ管理サブルーチン77a或いは77cは、個々の構成要素をモニタするステップと、実行されるプロセスセットのプロセスパラメータをベースにしてどの構成要素に操作が必要かを決定するステップと、モニタステップ及び決定ステップに回答してチャンバ構成要素サブルーチンを実行するステップとを含んでいる。

【0040】特定のチャンバ構成要素サブルーチンを図7を参照して説明する。基板位置決めサブルーチン80はチャンバ構成要素を制御するプログラムコードを含ん

でおり、そのプログラムコードは基板をペDESTAL 12上にロードするため、基板と基板をチャンバ15内で望ましい高さに持ち上げてガス分散マニホールド11との間の間隔を制御するため（こちらは任意事項である）に用いられるものである。基板がプロセスチャンバ15内にロードされると、ペDESTAL 12は基板を受けるように下げられ、その後ペDESTAL 12はチャンバ内で所望の高さに持ち上げられ、CVDプロセス中にガス分散マニホールドから第1の距離又は間隔で基板は維持される。操作中、チャンバ管理サブルーチン77aから転送されたサポート高さに関するプロセスセットパラメータに応じて、基板位置決めサブルーチン80はペDESTALの移動を制御する。

【0041】プロセスガス制御サブルーチン83は、プロセスガス組成及び流量を制御するプログラムコードを有する。プロセスガス制御サブルーチン83は、安全遮断バルブの開閉位置を制御し、また所望のガス流量を得るために質量流量コントローラの流量をランプ増減(ramp up/down)する。プロセスガス制御サブルーチン83は、全てのチャンバ構成要素サブルーチンと同様にチャンバ管理サブルーチン77aによって呼び出され、チャンバ管理サブルーチンから所望のガス流量に関するプロセスパラメータを受け取る。基本的に、プロセスガス流量制御サブルーチン83は、ガス供給ラインを開けて、繰り返して(i)必要な質量流量コントローラを読取ること、(ii)読取り値を、チャンバ管理サブルーチン77aから受け取った所望のガス流量と比較すること、(iii)必要に応じてガス供給ラインの流量調整することの操作を行う。更に、プロセスガス制御サブルーチン83は、ガス流量を危険流量に対してモニタするステップと、危険な状態が検出されたら安全遮断バルブを動作させるステップとを含んでいる。

【0042】プロセスの中には、反応性プロセスガスがチャンバ内に導入される前にチャンバ内の圧力を安定させるために、ヘリウム又はアルゴン等の不活性ガスがチャンバ15に流入されるものもある。プロセスガス制御サブルーチン83は、これらのプロセスに対してチャンバ内の圧力を安定するために必要な時間不活性ガスをチャンバ15に流入するステップを含むようにプログラムされており、そしてこのステップは実行されであろう。更に、プロセスガスが、例えばTEOSといった液体前駆物質から気化される場合は、プロセスガス制御サブルーチン83は、ヘリウム等の送出しガスをバブラ(bubbler)アセンブリ内の液体前駆物質に通して泡立てるステップ又はヘリウム等のキャリアガスを液体噴射装置に導入するステップを含むように書込まれているであろう。このタイプのプロセスにバブラが使用された場合、プロセスガス制御サブルーチン83は送出しガスの流れ、バブラ内の圧力及びバブラ温度を、所望のプロセスガス流量を得るように調整する。上述したように、所望のプロ

セスガス流量はプロセスパラメータとしてプロセスガス制御サブルーチン83に転送される。更に、プロセスガス制御サブルーチン83は、所望のプロセスガス流量を得るために必要な送出しガス流量、バブラ圧及びバブラ温度を、所定のガス流量に対する必要な値を含む記憶された表にアクセスすることによって得るためのステップを含んでいる。必要な値が得られると、それに応じて送出しガス流量、バブラ圧及びバブラ温度がモニタされ、必要な値と比較され、調整される。

【0043】圧力制御サブルーチン85は、チャンバの排気装置115に設けられたスロットルバルブの開口部の大きさを調整することによって、チャンバ15内の圧力を制御するためのプログラムコードを含んでいる。スロットルバルブの開口部の大きさは、全プロセスガス流、プロセスチャンバの大きさ及び排気装置115のポンピングの設定圧力に対応して、チャンバ圧を所望のレベルに制御するように設定されている。圧力制御サブルーチン85が呼び出されると、所望の又は目標の圧力レベルが、チャンバ管理サブルーチン77aからパラメータとして受容される。圧力制御サブルーチン85は、チャンバに連結された1以上の従来圧力計を読むことによってチャンバ15内の圧力を測定し、測定値を目標圧力と比較し、PID(比例、積分及び微分)値を目標圧力に対応させて記憶圧力表から得て、スロットルバルブを圧力表から得られたPID値に従って調整するように作動する。また、圧力制御サブルーチン85は、開口部がチャンバ15を所望の圧力に調整する特定の大きさになるようにスロットルバルブを開閉するように書込まれることもできる。

【0044】ヒータ制御サブルーチン87は、基板20を加熱するのに用いられる加熱ユニットへの電流を制御するプログラムコードを含んでいる。加熱制御サブルーチン87はまたチャンバ管理サブルーチン77aによって呼び出され、目標値又は設定値の温度パラメータを受信する。ヒータ制御サブルーチン87は、ペDESTAL 12に配置された熱電対の電圧出力を測定することによって温度を測定し、測定温度を設定温度と比較し、加熱ユニットに加えられる電流を増減し、設定温度を得る。温度は、記憶換算表の対応する温度を測定電圧から調べることであり、又は4次の多項式(a fourth order polynomial)を用いて温度を計算することによって得られる。埋込み型ループ状体がペDESTAL 12を加熱するのに用いられる場合、ヒータ制御サブルーチン87は、ループ状体に加えられる電流のランプ増減を徐々に制御する。増減を徐々にすることは、ランプの寿命と信頼性の増加する。加えて、プロセス安全コンプライアンスを検出するように組込みフェールセーフモードを含めることができ、プロセスチャンバが適当に準備されていない場合、加熱ユニットの操作を停止することができる。

【0045】プラズマ制御サブルーチン90は、チャン

パ15内のプロセス電極に印加されるRFパワーレベルの低周波数及び高周波数をセットするためと、使用されるRF周波数の低周波数をセットするためのプログラムコードを含んでいる。エッチバックチャンバが使用される場合、プラズマ制御サブルーチン90は、エッチバックチャンバに対するRFパワーレベルもセットする。前に説明したチャンバ構成要素サブルーチンと同様に、プラズマ制御サブルーチン90はチャンバ管理サブルーチン77aによって呼び出される。

【0046】IV. 化学的及び物理的エッチバックを使用するFSG層の堆積

本発明は、上述した典型的CVD装置10等の基板処理装置で形成される層のギャップ埋込みを改善する2ステップエッチングプロセスを提供するものである。このような装置において誘電体層を堆積するために使用される現行の方法は、多くの様々な用途に適応され得るギャップ埋込み能力を達成することができる。しかし、一部の用途（例えば、隣接金属配線のアスペクト比が2以上であり、隣接ゲート間の距離が0.5ミクロン以下のような用途）では、更に優れた高いギャップ埋込み特性が要求される。これらの用途では、配線ライン上に誘電体層を堆積した後、金属配線の間にボイドが存在する場合がある。こうしたボイドは、本発明の2ステップエッチングプロセスを使用して、除去することができる。

【0047】本発明の好適な実施形態では、最初の化学的エッチバックステップ及びその後続く物理的エッチバックステップを含む2ステップエッチバックシーケンスを使用して、誘電体層がエッチングされる。代替的に、エッチバックシーケンスは、物理的エッチバックステップの後に化学的エッチングステップを実施することもできる。更に別の好適な実施形態では、エッチバックシーケンスが、化学的及び物理的エッチバックステップの交互の繰り返しを複数回含むこともできる。エッチバックシーケンスの完了後、第2の堆積ステップが使用されて、ギャップ埋込みプロセスが完了する。

【0048】本発明を解説するために、この改善されたエッチバックシーケンスを、トリエトキシフルオロシラン（TEFS）をベースとするFSG層の堆積に関連して以下で詳細に説明する。しかし、本発明はそのような層のエッチバックに限定されず、他のFSG層やその他の誘電体層の堆積に関連しても、使用することができる。

【0049】本発明に従って優れたギャップ埋込み能力により安定した誘電体層を形成するために、ウエハが真空ロック扉から反応チャンバ15内にロードされて、ベDESTAL12上に載置される（図8、ステップ200）。次にベDESTALが処理位置14に移動される（ステップ205）。処理位置14で、ウエハはガス分散マニホルドから約180～280mil離れて配置される。好ましくは、ウエハは処理位置14で、ガス分散マニ-

ホルド11から約230mil離して配置される。

【0050】ウエハが適切に配置された後、ウエハ及びベDESTALは約350～500℃の温度まで加熱され、ガス分散マニホルドから反応チャンバ内に処理ガスが導入される（ステップ210及びステップ215）。処理ガスは、フッ素源としてのTEFS、珪素源としてのTEOF、及び1以上の酸素のガス源を含む混合物であることが望ましい。

【0051】O₂の形の酸素又は同様の酸素源は、約1100～1300sccmの速度で反応チャンバ内に導入されることが望ましい。室温で液体のTEOSは、液体噴射弁などによって気化されて、ヘリウムなどの不活性キャリアガスと化合する。TEOSの噴射弁への流量は約100～1000mgmであり、好適な範囲は約500～600mgmである。TEFSも室温では液体である。その噴射弁への流量は約500～1500mgmであり、好適な範囲は約900～1000mgmである。TEOS及びTEFSガス源は、気化された後、約460～660sccmの速度で導入されるヘリウムキャリアガスと混合される。

【0052】反応チャンバの約3～7torrの選択圧力は、真空ポンプ装置及び処理ガスの導入に関連してスロットバルブ32によって設定されて、堆積中ずっと維持される（図8、ステップ220）。処理条件を設定した後、単一又は混合周波数RF電源を用いて、プラズマが形成される（ステップ225）。好適な実施形態では、混合周波数RF電源が使用され、この電源は高周波数が約400～500Wで13.56MHz（約0.55～0.69W/cm²の電力密度）、及び低周波数が約80～180Wで約350KHz（約0.11～0.34W/cm²の電力密度）で駆動される。

【0053】本発明の方法の好適な実施形態では、以下のプロセスパラメータに従って、TEFSをベースとするFSGの第1の層が堆積される（図8、ステップ230）。ウエハは、ガス分散マニホルドから約230mil離して配置されることが望ましい。ウエハが適切に配置された後、ウエハ及びベDESTALは約440℃の温度に加熱され、チャンバ内の圧力は約5torrに維持される。O₂がガス分散マニホルドから約1180sccmの速度で反応チャンバ内に導入される。TEOS及びTEFSはそれぞれ550mgm及び960mgmで噴射弁に流入され、気化された後、約560sccmの速度で導入されるヘリウムキャリアガスと混合される。処理条件設定後、混合周波数RF電源を使用してプラズマが形成される。電源は、高周波数が約450Wで13.56MHz（約0.61W/cm²の電力密度）で、低周波数が約130Wで約350KHz（約0.17W/cm²の電力密度）で駆動される。

【0054】本発明に係る方法の別の好適な実施形態では、TEFSをベースとするFSGの第1の層が、上記

プロセスパラメータに従って堆積されるが、以下の点が異なる。すなわち、ウエハ及びペDESTALが約400℃の温度に加熱される点、TEFSが約900mgmの流量で噴射弁に流入される点、電源は低周波数が約200Wで約350KHz（約0.27W/cm²の電力密度）で駆動される点である。

【0055】図9（A）は、例えば金属配線252及び254のアスペクト比が2.0以上であり、金属配線252及び254間の距離が約0.5ミクロン未満の場合に、第1の堆積ステップ後に存在する小さいボイド250の簡易側面断面図である（薄膜256）。ボイドを埋めるために、最初に本発明の2ステッププロセスを用いて薄膜256がエッチバックされ、次に薄膜256の上に第2のTEFS層が堆積される。

【0056】第1のステップのエッチバックプロセスでは、CF₄又は同様のエッチングガスが反応チャンバ15又は別個のエッチバックチャンバ41に導入され、TEFSをベースとするFSGの第1の層が化学的にエッチバックされ、それによってボイド250が露出される。上述の通り、好適な実施形態では、化学的及び物理的エッチバックプロセスを実行するために、基板は真空密閉下で反応チャンバからエッチバックチャンバ41に移動される。CF₄は、約5～100sccmの速度で約50～150秒間、エッチバックチャンバ41に流入されることが望ましい。最も望ましくはCF₄は、約50sccmの速度で約86秒間、エッチバックチャンバに流入される。エッチバックチャンバの圧力は50～150mTorrが望ましく、RF電源は、高周波数が約600～700Wで約13.56MHz（約3.29～4.11W/cm²の電力密度）で駆動されることが望ましく、エッチング速度は約4000～6000オングストローム/minが望ましい。

【0057】図9（B）は、第1の誘電体層256に化学的エッチバックを実行した後のこの層256簡易側面断面図である。図9（B）から分かるように、化学的エッチバックステップにより、金属配線間のボイド250が露出された。しかし露出部260の境界は先鋭で狭い。従って、化学的エッチバックステップのすぐ後で誘電体層の堆積を完成させることは、先鋭で狭い露出部260を埋め込むことは困難なので、効果的でない。

【0058】図9（C）は、誘電体層256に化学的及び物理的エッチバックステップが実行された後のこの層256の簡易側面断面図である。図9（C）から分かるように、化学的エッチバックステップの後で物理的エッチバックステップが実行されると（図8、ステップ240）、化学的エッチバックステップで形成された先鋭で狭い露出部260の幅が広がり、かつ平滑化されるので、有利である。露出部260の境界の幅が広がり、平滑化されると、その後の堆積ステップによる埋込みが容易になる。

【0059】スパッタリングだけでは、金属配線の最上部下方のボイドに到達できない場合があるので、物理的エッチバックステップだけでは効果的でない。また、化学的エッチバックプロセスは、物理的エッチバックプロセスより高いエッチング速度で、堆積層をエッチングする。従って、物理及び化学の両方のプロセスを含むエッチバックステップは、全体的に高いエッチング速度でならかな傾斜の露出部が形成されるので、有利である。従ってこの2ステップエッチバック法により、その後の堆積層のギャップ埋込み能力は、従来の1ステップエッチバック法に比べて、かなり改善される。一般に、化学的エッチバックプロセスの後で物理的エッチバックプロセスが実行されることが望ましいが、場合によっては、化学的エッチバックプロセスの前に物理的エッチバックプロセスが実行されることもある。

【0060】物理的エッチバックステップは、アルゴンスパッタリングによって達成され得るが、その他のガスも使用され得る。アルゴンスパッタリングは、反応チャンバ15内で実行されることもできるが、上述の通り、エッチバックチャンバ41で実行されることが望ましい。アルゴンは、約5～100sccmの速度で約200～350秒間、反応チャンバ又はエッチバックチャンバに導入する。アルゴンは、約50sccmの速度で約272秒間、エッチバックチャンバに流入されることが望ましい。物理的エッチバックプロセスの場合、エッチバックチャンバ内の圧力は5～50mTorrの間が望ましく、RF電源は、高周波数が約300～400Wで約13.56MHz（約1.64～2.19W/cm²の電力密度）で駆動されることが望ましく、エッチング速度は約150～300オングストローム/minが望ましい。

【0061】物理的エッチバックステップが完了されると、第2の誘電体層が堆積され（図8、ステップ245）、露出部が埋込まれ、表面が平坦化される。エッチバックステップが別個のエッチバックチャンバで実行された場合、基板は、最終堆積ステップ実行のために、望ましくは真空密閉下で、エッチバックチャンバから反応チャンバに移動される。この第2の層は、FSG層、ドーブされていない珪酸塩ガラス（USG）層、又はその他の誘電体層とすることができる。他のFSG薄膜を第1の誘電体層として使用してもよいが、上述の通り、TEFSをベースとするFSG薄膜が望ましい。これは、フッ素源としてTEFSを使用した薄膜が一般に、他の化学物質源を使用した場合の薄膜より、優れたギャップ埋込み能力を有するからである。エッチバックは、ギャップ埋込み能力の高い薄膜に使用したときにその効果が最大になるので、本発明による方法は、堆積した第1の誘電体層が優れたギャップ埋込み能力を持つ場合に特に有効である。一方、化学的及び物理的エッチバックにより、金属配線間のギャップの第2の層による充分な埋込みが確保されるので、第2の誘電体層のギャップ埋込み

能力は、あまり重要ではない。

【0062】第1の堆積ステップと最終の堆積ステップとの間に実施される化学的及び物理プロセスの回数は、金属配線間のボイドの位置、金属配線間の距離及び金属配線のアスペクト比によって異なる。例えば、ボイドが金属配線の上面よりずっと下の位置にある場合、或いは金属配線のアスペクト比が特に高い場合には、ボイドをよりよく露出させて薄膜のギャップ埋込み能力を更に改善するために、複数回の化学的及び物理的エッチバックプロセスが交互に繰り返されるであろう。

【0063】

【発明の効果】図10は、本発明の方法に従って堆積した誘電体薄膜の側面断面図である。図10から分かるように、第1の誘電体堆積層が、金属配線300の上に形成されている。層301は、上述の好適な方法に従って形成されて、その後、上述の方法で化学的及び物理的にエッチバックされたものである。図に示す通り、第2の誘電体層303は、金属配線間の露出部を効果的に埋め込まれて、表面が平坦化されている。

【0064】図11は、堆積ステップと、その後続く化学的エッチバックプロセス及び物理的エッチバックプロセスを有するエッチバックステップと、その後続く最終堆積ステップとを含む、4ステッププロセスを使用して堆積した誘電体層のギャップ埋込み能力を示す顕微鏡写真である。これから明らかなように、金属配線間に小さいボイド305がまだ存在している。これは、図11の誘電体層が、2.0のアスペクト比及び0.45ミクロンの距離を持つ金属配線の上に堆積されたからである。用途によっては、ボイド305は十分に小さいので、その存在が許容可能な場合もある。そのような場合には、ボイドが完全に埋め込まれなくても、誘電体層のギャップ埋込み能力は充分である。一方、用途によっては、ボイド305を完全に埋め込むことが要求される場合もある。そのような場合、図11に示す層を形成するのに使用した1回の化学的及び物理的エッチバックプロセスではなく、エッチバックステップで複数回の化学的及び物理的エッチバックプロセスを使用することによって、図11の誘電体層のギャップ埋込み能力を更に改善することができる。エッチバックステップで、複数回の化学的及び物理的エッチバックプロセスを使用することによって、0.5ミクロン未満の距離及び2.0、おそらく3.0又はそれ以上のアスペクト比のギャップ埋込み能力を達成することが可能である。

【0065】図12も、図11に示す薄膜を形成するために使用した4ステッププロセスを使用して形成した誘電体層のギャップ埋込み能力を示す顕微鏡写真であるが、図12に示す誘電体層ではギャップ幅が0.8ミクロン、アスペクト比が1.6である点が、図11とは異なる。図12を参照すると、金属配線間にボイドが存在しないことが分かる。従って、金属配線間のギャップ

は、1回の化学的エッチバック及び1回の物理的エッチバックを含むプロセスによって効果的に埋め込まれるので、図12の誘電体層の効果的なギャップ埋込みのために、複数回の化学的及び物理的エッチバックプロセスは必要ない。

【0066】図13及び図14は、本発明の利益を受けずに形成された誘電体層を示す顕微鏡写真である。図13及び図14の誘電体層は堆積された後、1回の物理的エッチバックステップを使用してエッチングされたものである。図から分かるように、図13の金属配線間のギャップ幅及びアスペクト比は、図11の場合と同じであるが、図13の誘電体層には、金属配線の間により大きいボイド315がある。また、本発明の方法に従って形成した図12の誘電体層には、金属配線間にボイドが無いが、本発明の利益を受けずに同一寸法（ギャップ幅が0.8ミクロン、アスペクト比が1.6）の金属配線の上に形成された、図14の誘電体層には、金属配線間にボイド325がある。更にボイド325は比較的大きい。

【0067】上述のTEFS薄膜の様々なガス導入速度についての数値は全て、アプライドマテリアルズ社で製造された200mmウエハ用の抵抗加熱式D×Zチャンバに基いており、エッチバックステップのガス導入速度についての数値は、同じくアプライドマテリアルズ社で製造された200mmウエハ用のマークII形スパッタチャンバに基いている。他のメーカーで製造された他の容量のチャンバを使用した場合、ガス導入速度は異なるかもしれない。従って、上記のプロセスで列記したパラメータは、本書に記載する請求項に限定すべきではない。当業者は、他の化学薬品、チャンバパラメータ及び条件を使用することができる。従って、上の記述は例示であって、発明を限定するものではない。単なる例として、珪素源としてTEOSを、また酸素源としてO₂を使用する特定のプロセスに関連して、本発明を説明したが、シランなど他の珪素源及びN₂O、COなど他の酸素源を使用することが可能である。更に、隣接する金属配線間のギャップ埋込みに関連して、本発明を説明したが、他の突起構造間のギャップを埋めることもできる。従って、本発明の範囲は、上記説明ではなく、請求の範囲に記載する請求項及び等価物の全範囲によって決定されるべきである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に従ったCVD装置の一実施形態の垂直断面図である。

【図2】本発明に従ったCVD装置の一実施形態の垂直縦断面図である。

【図3】図1に示すCVDチャンバの部分的な分解斜視図である。

【図4】図1に示すCVDチャンバの部分的な分解斜視図である。

【図5】簡略化したエッチバックチャンバの一実施形態の断面図である。

【図6】1以上のチャンバを備えることの可能なCVD装置10及びシステムモニタの簡略図である。

【図7】本発明の特定の実施形態によるシステム制御ソフトウェアであるコンピュータプログラム70の階層制御構造のブロック図である。

【図8】本発明による方法の1つの好ましい実施形態による、TEFSをベースとしたFSG薄膜の形成における処理ステップを示す流れ図である。

【図9】(A)は、第1の誘電体材料層を堆積した後に存在するボイドの簡易側面断面図であり、(B)は第1の誘電体材料層に化学的エッチバックを実施した後の層の簡易側面断面図であり、(C)第1の誘電体材料層に化学的及び物理的エッチバックを実施した後の層の簡易側面断面図である。

【図10】本発明に従って堆積した薄膜の側面断面図であり、化学的及び物理的エッチバックを実施した後の第1の誘電体材料層の上に、第2の誘電体材料層を堆積し

た状態を示した図である。

【図11】本発明の方法に従って堆積したIMD層のギャップ埋込み能力を示す断面顕微鏡写真である。

【図12】本発明の方法に従って堆積したパッシベーション層のギャップ埋込み能力を示す断面顕微鏡写真である。

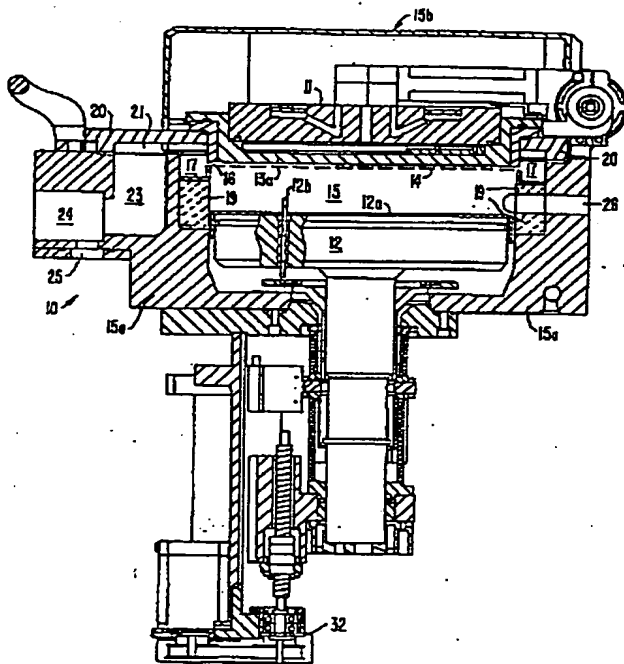
【図13】本発明の利益を受けずに堆積したIMD層のギャップ埋込み能力を示す断面顕微鏡写真である。

【図14】本発明の利益を受けずに堆積したパッシベーション層のギャップ埋込み能力を示す断面顕微鏡写真である。

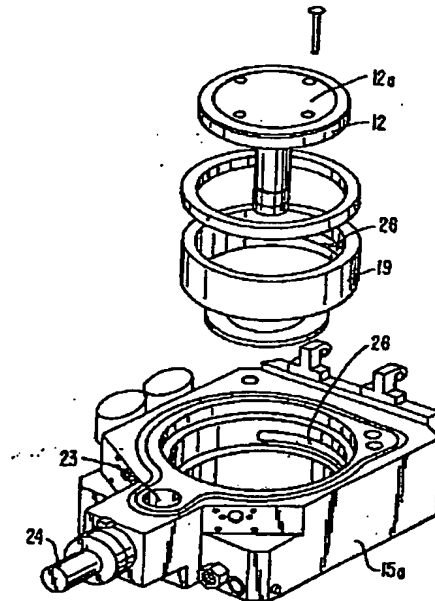
【符号の説明】

10…CVD装置、5…エッチバック装置、15…反応チャンバ、12…ペDESTAL、20…基板、34…システムコントローラ、37…プロセッサ、38…メモリ、41…エッチバックチャンバ、43…ペDESTAL、250…ボイド、252、254…金属配線、256…第1の誘電体層、260…露出部。

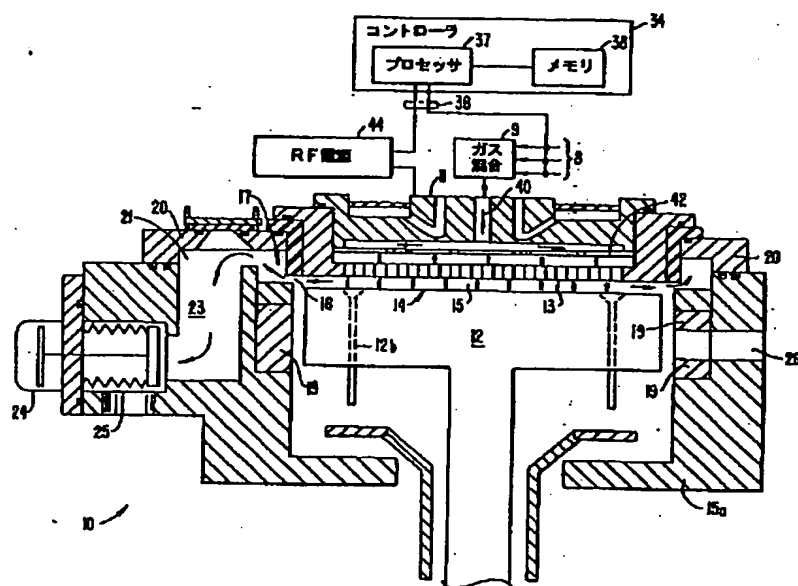
【図1】



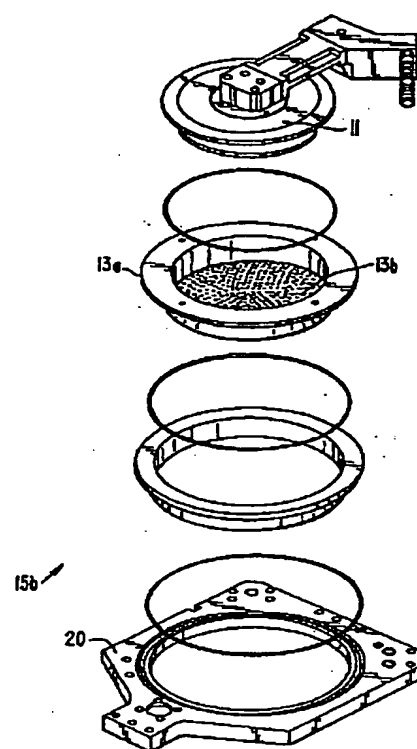
【図3】



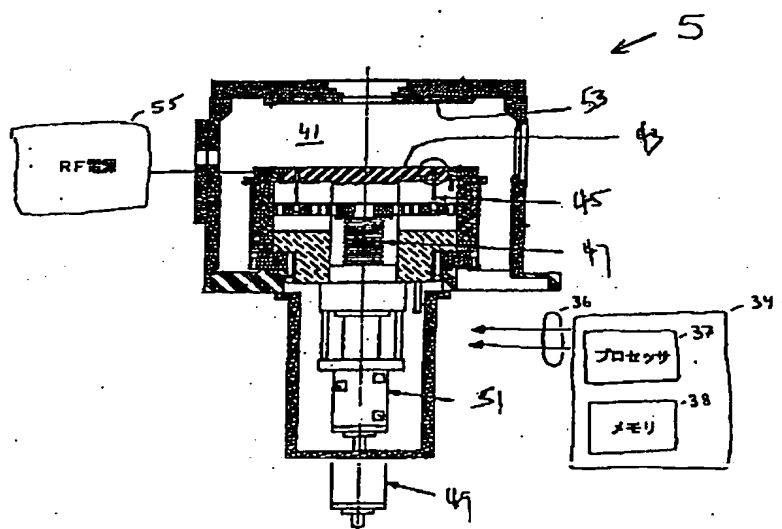
【図2】



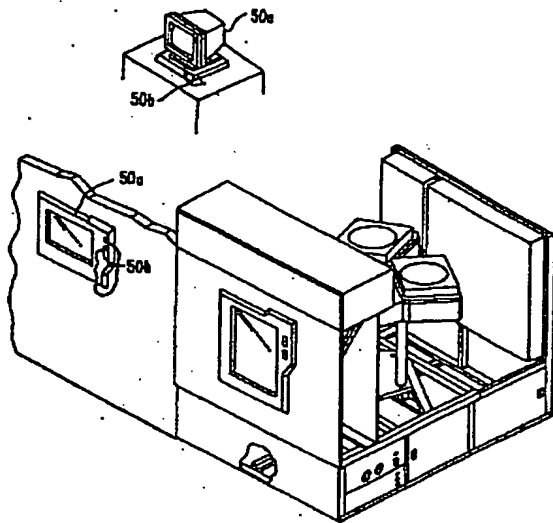
【図4】



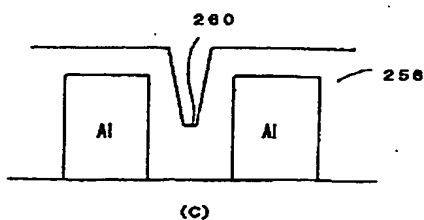
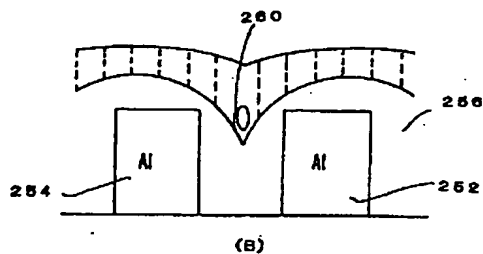
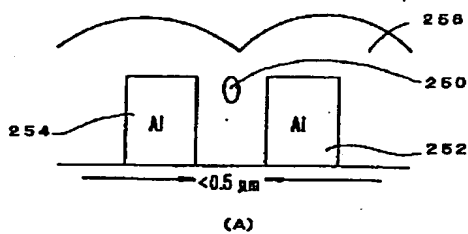
【図5】



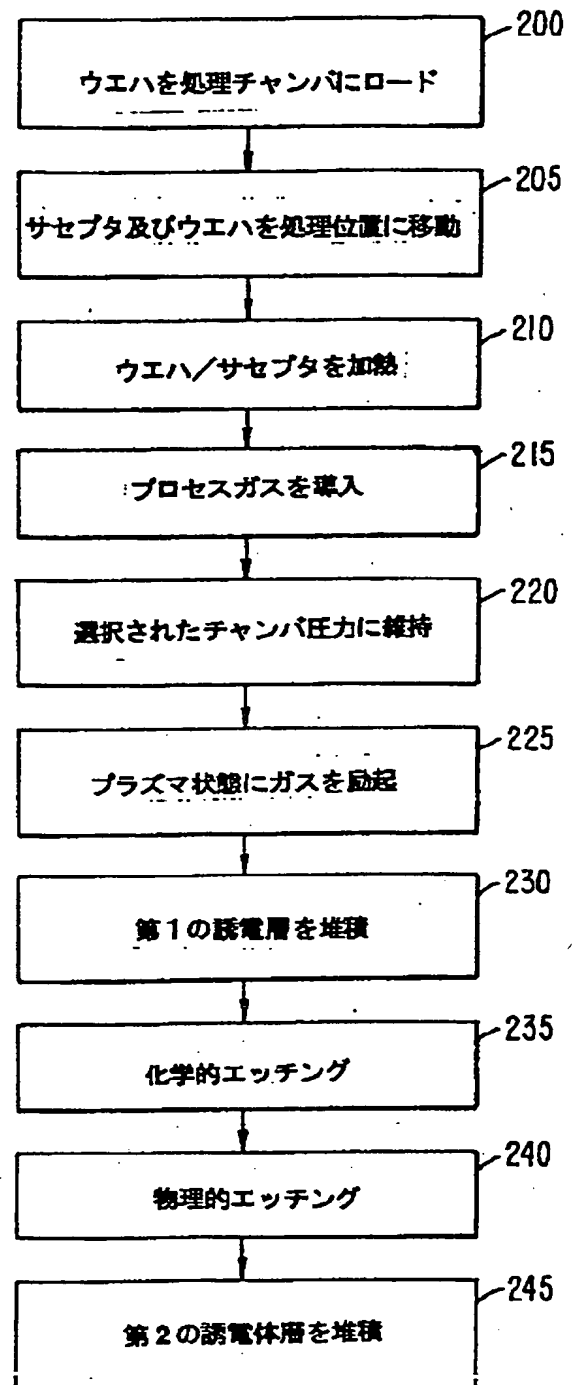
【図6】



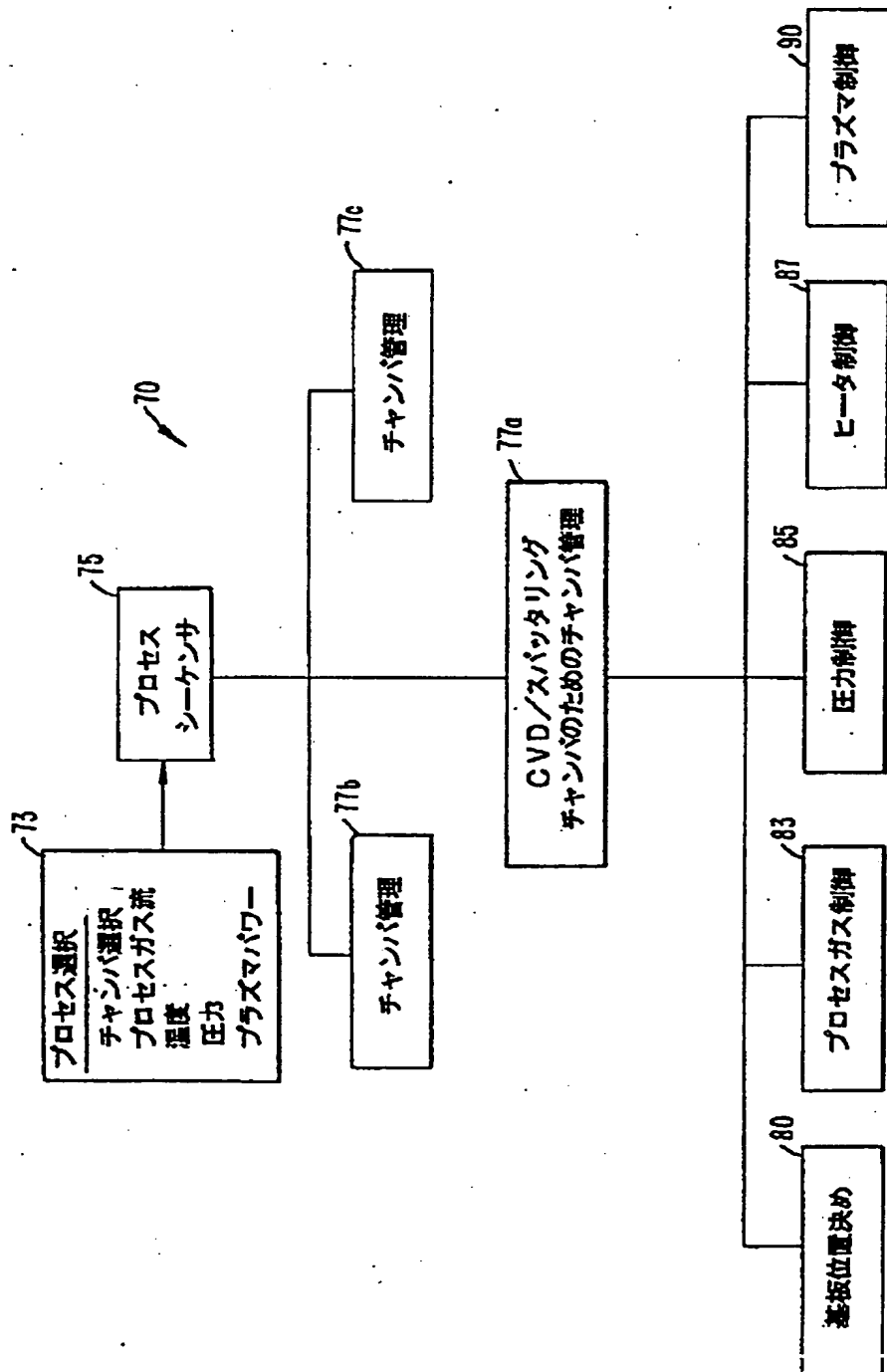
【図9】



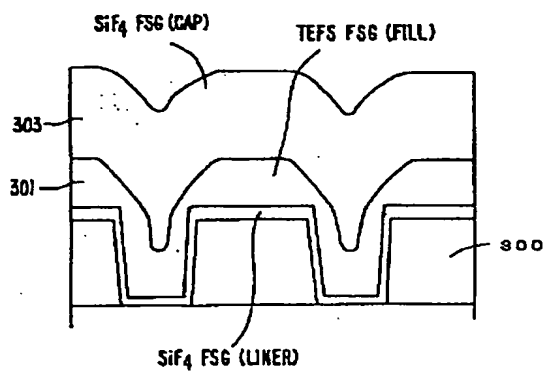
【図8】



【図7】

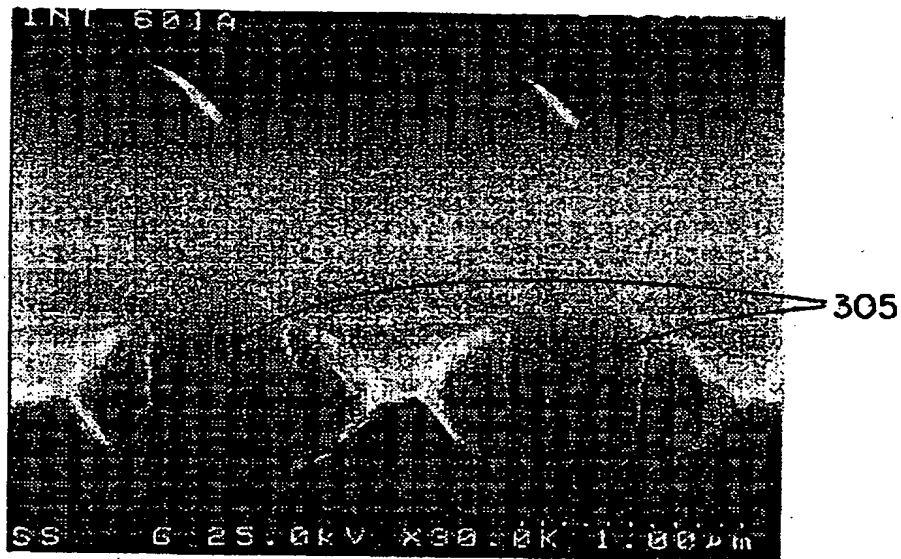


【図10】



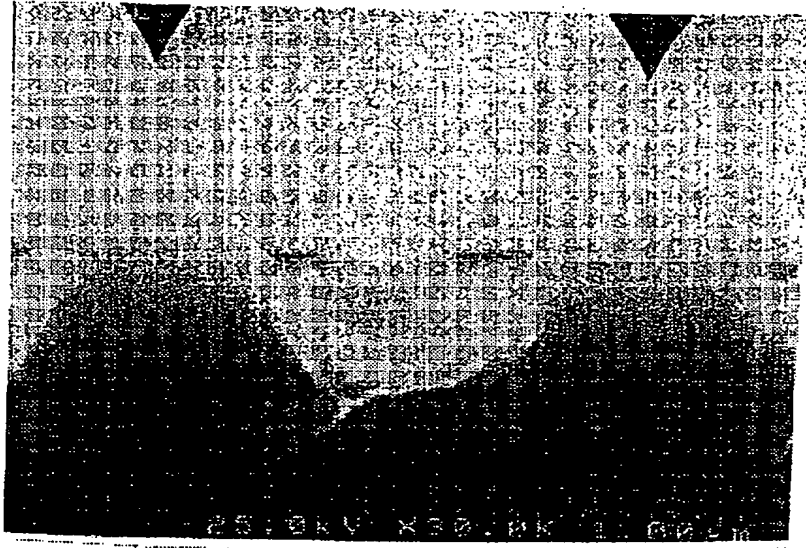
【図11】

図面代用写真

IMD (0.45 μm WIDTH x 0.9 μm HEIGHT)

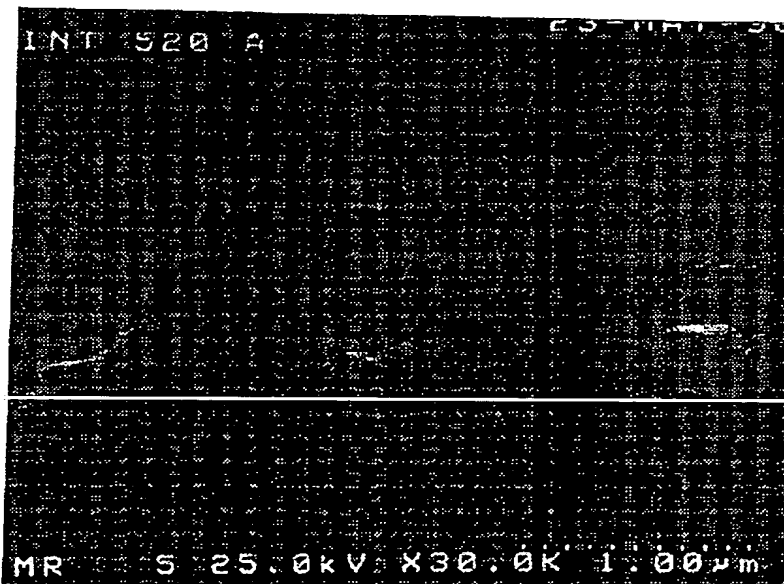
【図12】

図面代用写真

PASSIVATION (0.8 μm WIDTH x 1.3 μm HEIGHT)

【図13】

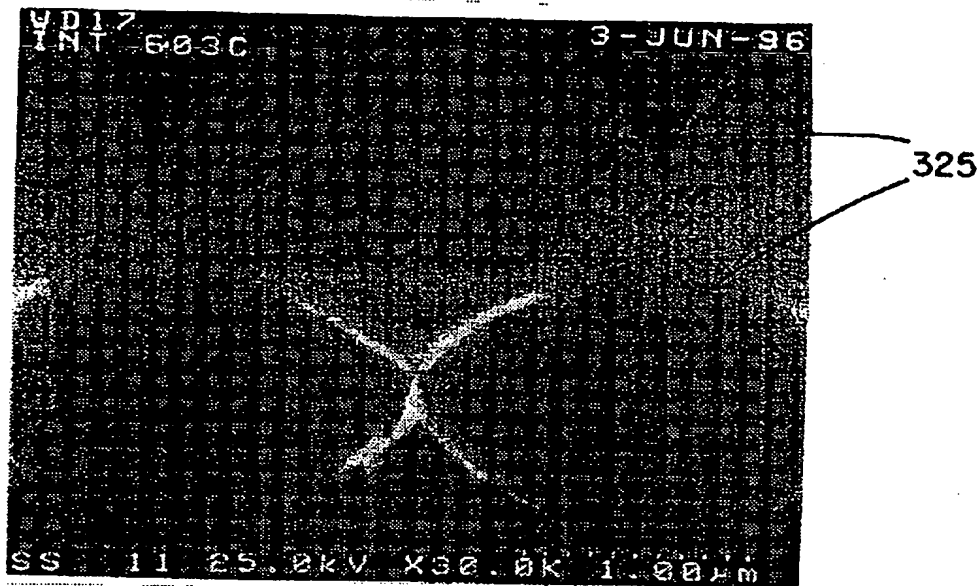
図面代用写真



315

【図14】

図面代用写真



フロントページの続き

(72)発明者 チヨム クン リュー
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州、
 サニーヴェイル、イーストエヴェリン
 アヴェニュー 730, ナンバー422

(72)発明者 マイケル ノールト
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州、
 サンノゼ、シャーリースコート
 1242

(72)発明者 カウシャル ケー スィング
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州、
 サニーヴェイル、ダフォディルコート
 700, ナンバーイー

(72)発明者 アンソニー ラム
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州、
 サンノゼ、パークアヴェニュー
 1844, ナンバー8

(72)発明者 ヴィレンダ ヴィ.エス. ラナ
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州、
 ロスガトス、アンドレコート 101

(72)発明者 アンドリュー コナース
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州、
 ロスガトス、サンタアナロード
 21580